

# Instrumentación y control de un secador de fruta tipo túnel

Jorge Rafael Elorza R., José Sandoval González, Martín T. Martínez G\*

El secado se define como el proceso de eliminación de humedad de un producto, debido a la transferencia simultánea de calor y masa (Heldman y Lund, 1992). Constituye uno de los métodos de conservación de alimentos más importante en todo el mundo (Waterman). En México, el método más usado es el de secado al sol, aunque sus principales desventajas son los tiempos de secado largos y la baja calidad de los productos obtenidos (Curran y Trim, 1983).

Debido al gran número de materiales con diferentes propiedades físicas y químicas que pueden ser secados, existe también una gran diversidad de secadores (convectivos, de contacto, radiación, eléctrico, liofilización, solvente, vapor sobrecalentado, osmótico, en lecho fluidizado, etc.), (Strumillo y Kudra, 1986).

Dependiendo de las condiciones de operación, características del producto a secar, la calidad deseada y del tiempo necesario para pasar de un contenido de humedad a otro, se empleará alguno de estos secadores. En general, este proceso se lleva a cabo de manera experimental efectuando pruebas de secado en forma controlada (Kneule, 1976), dentro de los rangos requeridos de velocidad del aire, temperatura y humedad relativa, además del registro de pérdida de peso del producto que se va a secar.

En México se han realizado un buen número de estudios de secado de diversos productos como alimentos, madera, etc. En todos ellos se reportan las metodologías empleadas y los resultados obtenidos. Existe poca literatura con ejemplos fáciles de implementar para profesionales no especializados en el hardware interno de las PC's, aplicados a los dispositivos térmicos o secadores solares.

En el presente trabajo se desarrolla un sistema de instrumentación y control para un secador tipo túnel, que permita la determinación de datos expe-

rimientales de una forma práctica, con una mayor precisión y rapidez en la recolección de datos, lo que permite una mejor descripción del sistema. Eliminando las fuentes de error que son intrínsecas a las mediciones manuales.

El sistema de instrumentación y control del túnel de secado está constituido por los siguientes elementos:

- Sensores
- Interfases
- Circuitos de soporte usando optoacopladores
- Software para el control y monitoreo del proceso.

El diagrama correspondiente al secador y las posiciones en donde van colocados los sensores se muestra en la figura 1.

Los sensores son del tipo LM335Z (figura 2) y están ubicados a lo largo del túnel de secado. Los sensores  $T_1$  y  $T_4$  están ubicados entre el ventilador y la resistencia,  $T_2$  y  $T_5$  están ubicados entre la resistencia y la balanza,  $T_3$  y  $T_6$  están ubicados después de la balanza al nivel de donde comienza la recirculación. Los sensores 1, 2 y 3 son utilizados

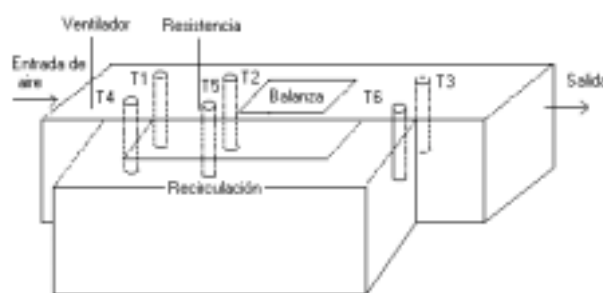


Fig. 1. Secador con pozos para sensores.

\* Universidad de Guanajuato. Instituto de Investigaciones Científicas. Cerro de la Venada S/N CP 36040.  
E-mail: elorza@quijote.ugto.mx, sandoj@quijote.ugto.mx, garciamt@quijote.ugto.mx

para regular la acción del ventilador y la resistencia (fuente de calor) para mantener la temperatura dentro de un rango de 20°C a 60°C, mientras que los sensores 4, 5 y 6 verifican las condiciones de circulación del aire y operan entre 20°C y 40°C. Para ello están conectados a un sistema de alarma, lo que permite que se active el ventilador o la resistencia.

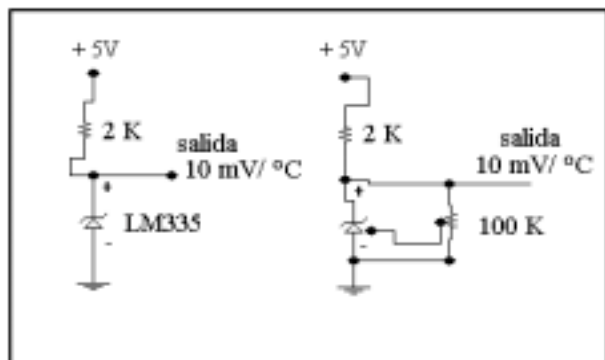


Fig. 2. Diagrama del sensor con circuito de ajuste.

## Operación del sensor de temperatura lm335z

El LM335Z es utilizado para medir temperatura, o cambios en temperatura, midiendo su voltaje de ruptura (o cambio en el voltaje de ruptura). Esto se hace conectándolo a una fuente de voltaje adecuada y midiendo el voltaje con un convertidor analógico-digital (LM335Z Temperature sensor manual).

La salida nominal lineal de +10mv/°C permite a un convertidor analógico-digital con 10-bit de resolución diferenciar cambios de 0.5 grados de temperatura.

La fuente de poder debe ser estable y poder proporcionar una corriente de operación en el rango de 0.4 mA a 5.0 mA.

Los mejores resultados se obtienen cuando la corriente de operación es aproximadamente 1 mA. Operando como una doble terminal zener, el LM335Z tiene una ruptura de voltaje lineal a temperatura absoluta (0 volts a 0 ° Kelvin). Esto le permite ser calibrado sobre el rango total de operación, usando un sólo punto de calibración, tal como la temperatura ambiente (20-25 ° C).

Una manera sencilla de proporcionar la fuente de poder adecuada es conectar una resistencia de

2K entre la fuente de 5 volts y la terminal positiva del sensor.

La temperatura actual se mide muestreando el voltaje en la terminal positiva del LM335Z. Una vez conocido el voltaje, la temperatura (sin calibrar) se puede calcular de la siguiente ecuación:

$T_m = V_m / 10 (\text{mV/GC}) - 273$ , donde  $T_m$  es la temperatura en grados Celsius y  $V_m$  es el voltaje medido en volts.

## Calibración del sensor de temperatura

Aunque el proveedor de los sensores proporciona una ecuación de calibración para los mismos, en la experimentación se encontraron divergencias y se adoptaron como ecuaciones de la calibración, las obtenidas con el método de mínimos cuadrados, para una regresión lineal, utilizando varios puntos de voltaje y temperatura, en un rango de 0 a 90 grados centígrados, que es el rango de trabajo de interés en el presente estudio, a continuación se muestran las gráficas obtenidas para la calibración (figuras 3, 4 y 5).

## Características de la tarjeta pcl-812g y tarjetas hijas pcd-780, pcd- 785

Las tarjetas utilizadas en el sistema representan una buena alternativa, ya que poseen características multifuncionales de control y medición para sistemas compatibles con PC's. Además de las aplicaciones industriales que requieren una combinación analógica- digital, como la PCL-812G (figura 6 ).

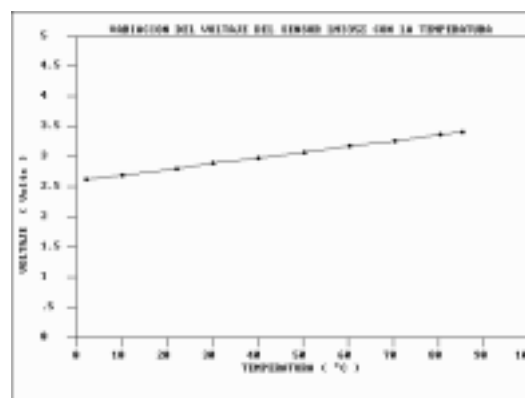


Fig. 3. Variación del voltaje de salida del sensor con la temperatura.

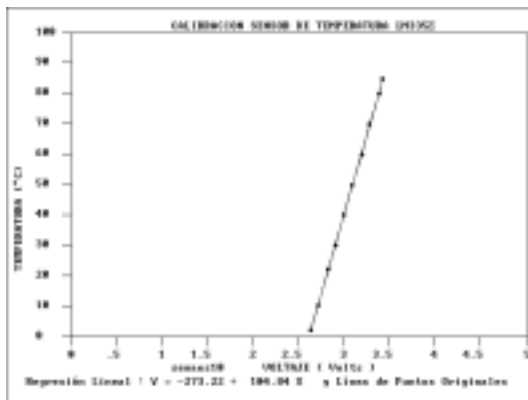


Fig. 4. Calibración del sensor de temperatura, Voltaje vs temperatura, (ecuación de regresión y puntos originales).

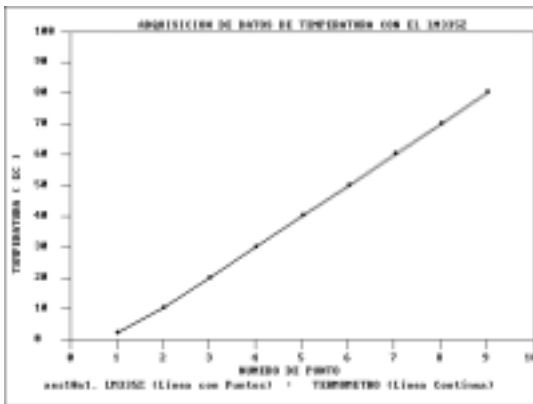


Fig. 5. Comparación de la temperatura dada por el sensor, un termómetro de mercurio y la ecuación de regresión calculada.

(PC Lab. Card PCL-812PG User's Manual).

A continuación se citan algunas de las características más importantes de la tarjeta PCL-812G.

- \* Es una tarjeta multifunción PCL compatible.

Soporta múltiples tarjetas hijas de conversión analógico / digital de 16 canales.

- \* Frecuencia máxima de muestreo 30 khz en modo DMA (acceso directo a memoria).

- \* Dos canales (en tarjeta hija) de conversión digital-analógico de 12 bits.

- \* Soporta tarjeta hija para entrada/salida digital de 16 canales.

- \* Soporte de software. Puede ser programado en los siguientes lenguajes: básica (intérprete); Quick-Basic (compilador); Pascal (compilador); C/C++ (compilador); Visual-Basic (intérprete-compilador).

La utilización de esta tarjeta requiere la conexión permanente a una PC, así como también la compra

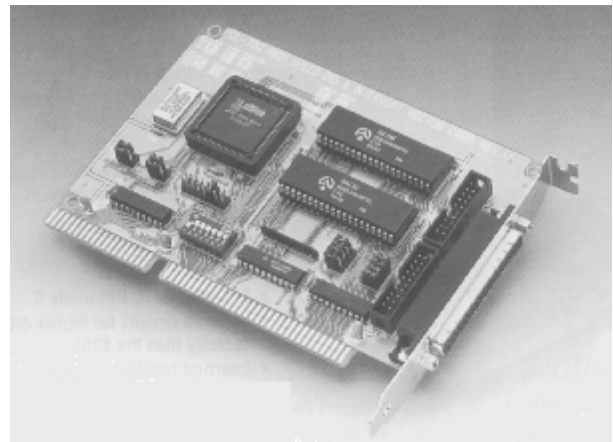


Fig. 6. Tarjeta módulo principal PCL-812G

de las tarjetas hijas que realizan diversas funciones.

En resumen, la tarjeta cumple todos los requisitos para su aplicación en el sistema de secado. (Annino Raymond, 1986; Calter Paul 1973; C. Chapra et al. 1988).

### Tarjeta hija de conversión a/d y d/a

La tarjeta PCLD-780 cuenta con 16 terminales de tornillo en el tablero, correspondientes a los 16 canales A/D, en donde irían conectados los sensores cuya salida sea en voltaje, y dos correspondientes a los canales de conversión D/A, que proporcionarán el voltaje que se elija o necesite en el rango de 0-5 V o en el rango de 0-10 V.

### Tarjeta hija de salida digital (en relevadores)

Esta tarjeta proporciona 16 canales para relevadores electromecánicos, los cuales nos van a servir para activar los interruptores de los circuitos de soporte del ventilador y la resistencia. Cada relevador cuando es activado toma aproximadamente 0.53 Amperes del bus de +12V de la computadora, en caso de que haya un problema de sobrecarga en la fuente de +12V de la computadora, la PCLD-785 tiene un interruptor de puente que permite conectar una fuente externa de 12V al tablero de la PCLD-785.

### Conversión analógico-digital con la tarjeta pcl-812g y pcl-780

La prueba de esta conversión se hizo con una fuente

de voltaje de dos salidas para simular la señal de entrada de dos sensores, el resultado del barrido se mandó a la pantalla de la PC, se modificó el voltaje de la fuente en un rango de 0-5 V, adquiriéndose estos voltajes por la tarjeta en forma satisfactoria.

## Salida digital con las tarjetas pci-812g y pcli-785

La tarjeta hija PCLD-785, como ya se dijo antes, contiene relevadores que sirven para activar y desactivar los interruptores. El circuito de soporte y el ventilador se probaron, utilizando dos relevadores de los 16 que tiene.

## Circuitos de soporte con optoacopladores. Circuito del control de resistencia y del motor

Para poder utilizar las interfaces con los circuitos de acondicionamiento, se construyó un circuito en donde por seguridad se aisló con acopladores ópticos la etapa de corriente directa y la etapa de corriente alterna, que sería la etapa de potencia en donde se controla el motor de corriente alterna.

El uso de acopladores es interesante, ya que por su intermedio la computadora queda aislada del circuito externo comandado, dando así mucho más seguridad a la interface de relevadores y a la PC.

De esta manera, si se produjera algún error en la interfase, no existiría el peligro de que una tensión alta de retorno pudiera causar problemas a la PC.

## Operación del circuito de control

El acoplador óptico es activado por medio de una tarjeta PCLD - 785 (tarjeta hija con relevadores de salida), en el instante en que los pulsos de disparo son producidos en un semiciclo, depende de la iluminación de un fototransistor existente en un acoplador óptico 4N25.

Si los mismos fueran producidos al final del semiciclo (mayor retardo), cuando el transistor se encuentra sin iluminación (mayor resistencia), la potencia aplicada a la carga será mínima.

Sin embargo, si son producidos enseguida del inicio de los semiciclos (menos retardos), cuando el transistor se encuentra iluminado por el led (detector de emisión de luz) infrarrojo (menor resistencia), la potencia aplicada a la carga tendrá su valor máximo.

En la modalidad original, el led emisor presenta dos niveles lógicos posibles: alto = encendido, y bajo = apagado.

El resistor R1 en serie con el led infrarrojo del fotoacoplador tendrá su valor determinado por la tensión lógica de control, por lo que la tensión que proporciona la tarjeta es de 12 volts, con lo que de acuerdo a una tabla lógica el valor será de 1.2K.

En la etapa posterior se encuentra el optodisparador (MOC 3011), que al ser activado el LED del optodisparador, a su vez, dispara el triac (TIC263) controlando la resistencia dentro del sistema. El triac que se utiliza es para alto consumo de corriente. En la figura 6 se muestra el diagrama del circuito de soporte del sistema de control.

Como los optodisparadores controlan los triac vía haz de luz infrarroja, existe un aislamiento total del circuito de potencia en relación al circuito de control.

En la figura 7 se muestra el sistema completo del circuito de control, y en la figura 8 el circuito general de control de resistencia y del ventilador. El diseño del circuito de control está constituido por una etapa de activación utilizando optoacopladores y otra etapa de potencia utilizando un triac.

Los circuitos integrados deben montarse en bases sólidas en el circuito impreso, y el triac debe de ser montados con buenos disipadores de calor.

Debido a la intensidad de corriente controladas, los cables del triac deben ser de bajo calibre.

Los optodisparadores deben ser del tipo MOC3011 si la red de energía es de 110V.

## Software para el monitoreo y control del proceso de secado

La operación del programa es sumamente simple,

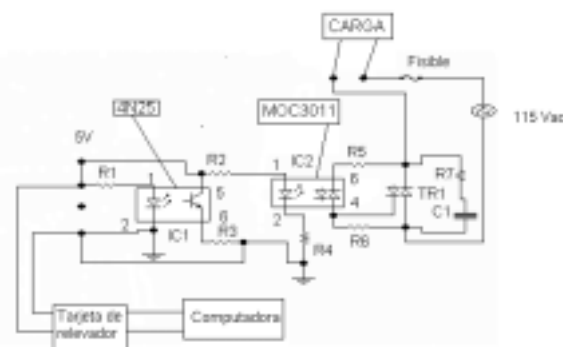


Fig.7. Diagrama del circuito de control.

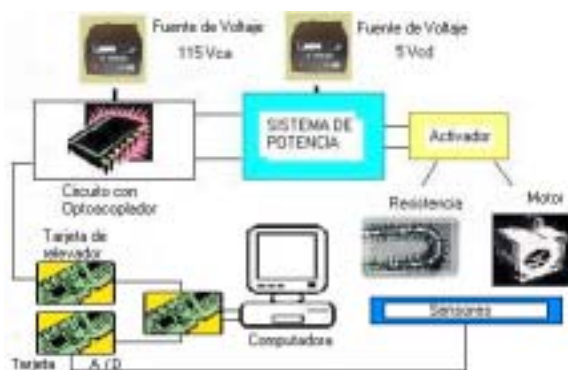


Fig. 8. Circuito general de control de resistencia y del ventilador.

la responsabilidad del operador consiste en cambiar las condiciones de temperatura de los sensores, o empezar el proceso con las condiciones internas del programa. Una vez que las condiciones físicas se establecen, tales como las conexiones de electricidad, encendido de la PC, fuente para los sensores, secador, tan sólo hay que elegir la opción correspondiente en el menú principal del programa, como se ve a continuación (figura 9):

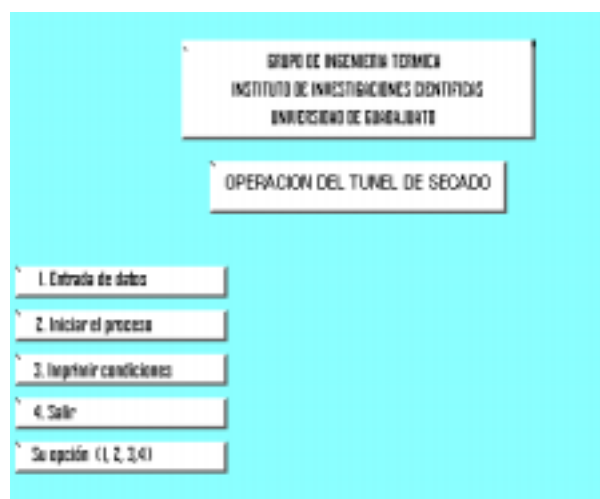


Fig. 9. Menú principal del programa del sistema.

Si se elige la opción 2, el programa funcionará con las condiciones internas del programa; si se elige la opción 1, el programa pedirá que se proporcionen los nuevos parámetros para el funcionamiento del programa; en la siguiente gráfica (figura 10) se

muestra la introducción de datos para el primer sensor de temperatura:

Figura 10. Entrada de datos para un sensor de temperatura.

En este caso se han dado los mismos que en la opción 2, con el propósito de ilustrar el procedimiento, éste continúa hasta que se han proporcionado los datos para los ocho sensores de temperatura (figura 9).

La grabación de los datos ambientales depende del desbordamiento de los límites de los sensores 7 y 8, denominados como T7 de bulbo seco y T8 de bulbo húmedo, en cuyo caso el archivo será nombrado de acuerdo a la fecha, será de tipo ASCII y contendrá la lectura de temperatura de los ocho canales, en los cuales están los sensores, la humedad y la hora en que se registre la anomalía.

Este tipo de archivo puede ser leído por cualquier hoja de cálculo o por un procesador de palabras, el programa tiene también, adicionalmente, la opción durante la ejecución de obtener la pantalla con los iconos del proceso, indicando su estatus instantáneo, con las teclas CTRL + P, esto producirá un archivo en formato PCX, el cual puede ser visto e impreso con utilerías o con cualquier procesador de texto del sistema operativo windows.

En la figura 11 se muestra un diagrama general de cómo se haría el monitoreo del proceso de secado; y en la figura 12, la pantalla con los medidores de temperatura.

El área inferior coloreada en azul de cada medidor representa las temperaturas entre cero y el límite inferior permitido, el área coloreada en rojo (si la impresión es blanco y negro, el tono es más oscuro que el azul) representa las temperaturas comprendidas entre el límite superior y los 100 ° C, en la parte superior de cada medidor está el nombre dado y de la letra T y el número se sabe su colocación de



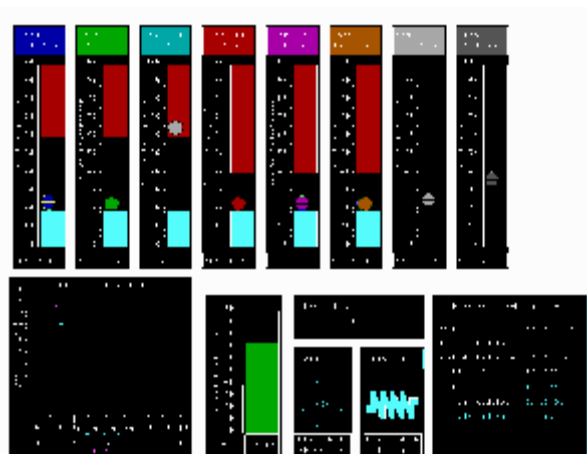


Fig. 11. Diagrama general del monitoreo del proceso de secado.

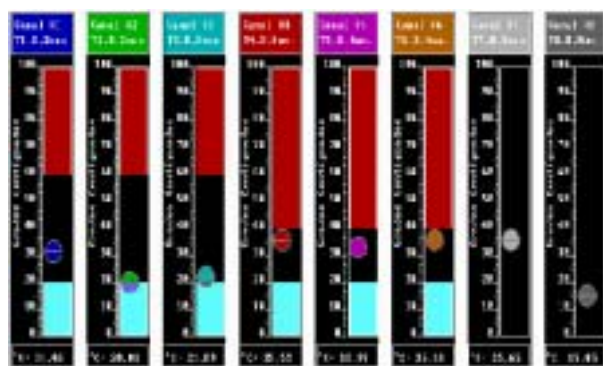


Fig. 12. Iconos de los sensores de temperatura.

acuerdo a la figura 1. La posición del diámetro de la esfera proporciona la lectura en grados centígrados, los medidores 7 y 8 no tienen especificado ningún límite, por lo cual no hay áreas azul y roja, también tiene en el primer encabezado el número del canal analógico-digital de la tarjeta PCLD-780, a la cual va conectado cada sensor. En la parte inferior de cada icono se despliega la temperatura actual en forma numérica.

### Funciones principales de la tarjeta pcl-812pg

Las funciones para el manejo de la tarjeta se han aislado en subprogramas, se ha anulado el paso de parámetros a través del llamado de la mayoría de las funciones, con la finalidad de evitar la redundancia, y simplificar la codificación del programa, para esto se han declarado globales los arreglos correspondientes a las tablas de parámetros, que

controlan las opciones de la tarjeta, y al buffer o vector en donde se almacena los datos que se leen o se mandan a la tarjeta PCL-812. Así se «esconde» parte de lo complicado del manejo del código, y se facilita la programación, el precio que hay que pagar es el cuidado para utilizar los arreglos anteriores. En la figura 13 se presenta un diagrama del proceso completo y se muestran las funciones del programa.

Así, por ejemplo, si queremos leer el contenido de los canales 0 a 15 de la tarjeta de conversión A/D, basta el código siguiente:

```
IniParamAD1 'Establece velocidad de adquisición
de datos ' Modo de disparo , segmento y offset de
buffer
Funcion3DA 'Inicializa Hardware
CLS 'Pone en blanco pantalla
DO
FOR Canal = 0 TO 15
IniParamAD2 (Canal) 'Establece número de ca-
nal a leer
Funcion4 'Inicializa conversión A/D
Funcion5 'Realiza conversión A/D
ConvBitsaVolt (Volts) 'Convierte código de «bits»
a volts
'Despliega en pantalla lectura en el canal 0-15
renglón = Canal + 1: LOCATE renglón, 10
PRINT USING «Canal ## +#.#### volts»; Canal;
Volts
NEXT Canal
LOOP UNTIL (inkey$ <> «»)
```

### Estructura de datos de los sensores y funciones para graficarlos

Las funciones que se muestran están basadas en los datos contenidos, en el arreglo de memoria para cada sensor, el tipo de cada elemento en donde se almacenan los datos se muestra en primer lugar antes de las funciones. El arreglo formado por ocho elementos es SensorTemp(i), los datos 1 a 7 se leen dentro del programa o si se quieren diferentes se proporcionan desde teclado, el dato 8 se calcula de acuerdo a una abscisa base y el número del sensor mediante un desplazamiento y permanece constante en el programa.

Junto con el dato nueve se borra la posición anterior y se dibuja la actual de la esfera, que sirve como indicador de temperatura en la escala.

La función 1 dibuja los ocho iconos tomando como base anchura, altura, radio de la esfera que funciona como indicador, una abscisa base; toma los datos contenidos en el arreglo para identificar cada icono, y el número del sensor sirve para obtener el color, los ocho iconos permanecen inalterados durante el proceso a excepción de la parte inferior del icono, en donde se despliega el valor numérico de la temperatura con dos decimales, y la esfera que señala la temperatura en la escala, tal como se ve en la figura 11.

La función enumerada como 2 sólo grafica la posición inicial (0 °C) de la esfera y la lectura de la parte inferior del icono. La función 3, de acuerdo con el dato obtenido en el canal de conversión analógico-digital, borra la posición anterior de la esfera, la lectura numérica y las actualiza; la función 3 y la 4 permanecen ejecutándose durante todo el proceso. La función 4, sólo hace una transformación matemática de coordenadas, es decir la temperatura la transforma a una coordenada de pantalla. Las funciones descritas hacen uso intensivo de la biblioteca gráfica y con ésta se obtiene una velocidad de graficación más alta.

## Conclusiones

Con la construcción e instrumentación del sistema de control y adquisición de datos, el monitoreo de las temperaturas y la humedad en el secador, en tiempo real y el almacenamiento de estos datos permitirá tener un conocimiento más preciso del proceso de secado que esté llevándose a cabo en el secador de túnel, ya que se pueden variar las condiciones y obtener las óptimas para un determinado producto, así como conocer y almacenar en el disco de la computadora personal los datos y gráficas correspondientes a la totalidad del programa y de las PCL's (tarjetas lógicas programables). Finalmente, también se logra el control en el encendido y apagado de la resistencia (calentador) y del ventilador (enfriador) todo lo cual se encarga al trío o sistema de la PC, PC-Programa-PCL. La parte de instrumentación y control está en una fase terminal, quedando en proceso los resultados de la parte experimental del secado de productos.

## Resumen

En este trabajo se proporciona un ejemplo con cier-

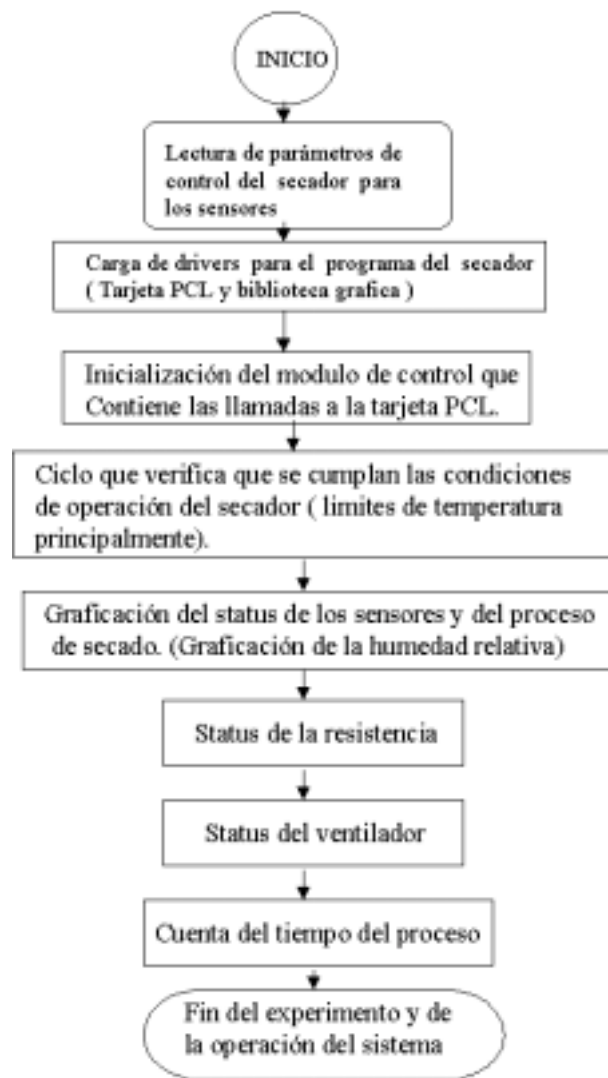


Fig. 13. Diagrama de flujo para la operación del túnel de secado.

to detalle de cómo emplear una PC y una tarjeta lógica programable para la implementación de un sistema de monitoreo, adquisición de datos y control, para aplicarlo en un prototipo de un secador de fruta de túnel de una manera práctica.

El sistema está basado en una tarjeta PCL-812PG de «ADVANTECH», la cual cuenta con convertidores analógico/ digital, en donde van acoplados los sensores, una tarjeta hija de relevadores que sirven para activar o desactivar los circuitos de potencia de un ventilador y una resistencia. El programa puede operar con condiciones iniciales presupuestas por

programa, o mediante una opción del menú principal. Los datos muestreados son almacenados en disco, en un formato de texto (ASCII) accesible tanto a hojas de cálculo como a procesadores de texto, o un programa desarrollado para un propósito específico, el monitoreo de los sensores se hace en tiempo real, utilizándose para esto una biblioteca gráfica escrita en lenguaje ensamblador en combinación con un compilador Quick Basic.

*Palabras clave:* Instrumentación, Control, Sensores, conversión A/D, Tarjetas PCL's, Ensamblador, Compilador.

## Abstract

This work gives an example, with certain detail, of how to employ a PC and a programmable logic board for the implementation of a monitoring system, acquisition and control of data for applying it to the prototype of a tunnel-type fruit dryer in a practical way. The system is based on a PCL-812PG card from ADVANTECH which has analog/digital converters being coupled to sensors, a daughter board of relays that serves to activate or deactivate the power circuits of a ventilator and a resistor. The program can operate with initial startup by program or via an optional principal menu with shown data stored on a disk in text (ASCII character set) accessible through calculation sheets as well as text processors, or a program developed for a specific purpose using a graphic library written in assembler language in combination with Quick Basic.

*Keywords:* Instrumentation, Control, Sensors, A/D conversion, PCL cards, Assembler, Compiler.

## Referencias

1. Heldaman D.R. y Lund D.B. 1992. Food Engineering Handbook. Marcel Dekker, Inc. New York.
2. Waterman J.J. 1978. La producción de pescado seco FAO. Documentos técnicos de la pesca No. 160:52p.
3. Curran C. A. Y D.S. Trim 1983. Comparative Study of Solar and Sun Drying of Fish. FAO Fish rep.279.
4. Strumillo C. y Kudra T. 1986. Drying: Principles Applications and Design. In topics in Chemical Engineering Vol. 3. Ed. R. Hughes University of Salford U.K.
5. Kneule Friedrich 1976. " El secado " Ed. Urmo España.
6. LMN335Z Temperature Sensor . Blue Earth Research. 165 West Lind CT, Mankato, MN, USA.
7. PC-Lab Card (PCL-812PG) user's manual Advantech Co., Ltd. Part No. 2003812030, 1st Edition. Taiwan, November 1996.
8. José Hernández R. Fernando Flores M. Jaime Cuevas D. Roberto Best y A. Xicale A. Diseño de un secador solar de maderas tropicales. U. De Q. Roo y CIE- UNAM. XXIII Semana Nacional de Energía Solar 1999.
9. Efraín Simá Moo, Gabriela Álvarez y Leonel Lira Cortés. Caracterización y evaluación de un secador-solar de grano en tipo indirecto. CENEDIT, DGIT -SEP. XXIII Semana Nacional de Energía Solar 1999.
10. Jorge R. Elorza, José Sandoval y Martín Martínez G. Desarrollo de un Driver para una tarjeta lógica programable de uso industrial para el monitoreo de termopares utilizados en dispositivos térmicos. XXV Semana Nacional de Energía Solar 2001.
11. Carlos A. Pérez Rábago, Jesús D. Molina. Sistema de medición de temperaturas. XXV Semana Nacional de Energía Solar 2001.
12. Microsoft Quick Basic, V.4.5 Microsoft Corporation, 1990.
13. Reference Manual for the SVGA Graphics Library Zephyr Software, 1993-1995.